Lehrmittel

SOUND WAVE CONTROLLER SC600

Ultraschallgenerator mit Zubehör
für den Debye-Sears-Versuch und zur
Projektion stehender Ultraschallwellen

Benutzerhandbuch

www.gampt.de

gaMPT ULTRASONIC SOLUTIONS

Erstausgabe: Version 1.0, Mai 2013

Gesellschaft für Angewandte Medizinische Physik und Technik mbH
Hallesche Strasse 99F
06217 Merseburg
Telefon: +49 3461/278691-0
Fax: +49 3461/278691-101
E-Mail: info@gampt.de

Besuchen Sie uns im Internet: www.gampt.de

© 2014 GAMPT mbH

Alle Rechte sind der GAMPT mbH vorbehalten. Kein Teil dieses Handbuchs darf in irgendeiner Form ohne die Genehmigung der GAMPT mbH reproduziert oder verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Die GAMPT mbH haftet nicht für Schäden infolge von Fehlgebrauch sowie Reparaturen und Abänderungen, die von dritter, nicht von der GAMPT mbH autorisierter Seite vorgenommen werden.

Technische Änderungen vorbehalten. Irrtümer vorbehalten.

Druck: 13. 03. 2014
Version: 1.0G

Inhaltsverzeichnis

1 Sicherheitshinweise 2
2 Einführung 3
3 Sound Wave Controller SC600 4
3.1 Vorderansicht des SC600 5
3.2 Rückseite des SC600 6
3.3 LCD-Anzeige 7
3.4 Bedienung des SC600 7
3.4.1 Signalgenerator (Frequency Generator) 7
3.4.2 Ultraschallgenerator (ULTRASONIC UNIT) 11
3.4.3 Spannungsversorgung für Lasermodule (LASER) 12
4 Zubehör 14
4.1 Ultraschallsonde 14
4.2 Lasermodule 14
4.3 Probenwanne und Sondenjustierung 15
4.4 Projektionslinse 16
5 Praktikumsversuche 17
5.1 Allgemeine Versuchshinweise 17
5.2 Debye-Sears-Effekt 18
5.3 Projektion stehender Wellen 19
6 Technische Details 21
6.1 Sound Wave Controller SC600 21
6.2 Zubehör 22

Bitte lesen Sie das Handbuch vollständig vor der Benutzung des Gerätes und des Zubehörs.

1 Sicherheitshinweise

Lesen Sie vor Inbetriebnahme des Ultraschallgenerators und des Zubehörs die folgenden Hinweise zu Ihrer eigenen sowie zur Betriebssicherheit des Gerätes gründlich durch.

- *Die Öffnungsschlitze am Gerät dienen der Ventilation und müssen unbedingt freigehalten werden, um einer Überhitzung des Gerätes vorzubeugen. Es wird empfohlen, die am Gerät vorhandenen Aufstellfüße zu benutzen.*
- *Achten Sie darauf, dass die für das Geräte angegebenen Spannungswerte und Absicherungen bei der Stromversorgung eingehalten werden.*
- *Versuchen Sie niemals, Gegenstände durch die Öffnungen am Gerät einzuführen, da es zu Kurzschlüssen oder Stromschlägen kommen kann.*
- *Schließen Sie an den mit PROBE bezeichneten Ausgang der ULTRASONIC-Unit nur die von der Firma GAMPT mbH mitgelieferten Ultraschallwandler an. Vorsicht, es liegen Spannungen bis zu 50 V und Ströme bis zu 1000 mA an.*
- *Betreiben Sie den angeschlossenen Ultraschallwandler nicht ohne Kontakt zu einer Flüssigkeit, da es zur Überhitzung und damit zur Zerstörung des Wandlers kommen kann.*
- *Schalten Sie den Ausgang PROBE des SC600 ab, wenn die Ultraschallsonde nicht angeschlossen ist oder nicht benötigt wird.*
- *Da mit dem Gerät und dem zugehörigen Schallwandler Leistungsultraschall erzeugt wird, darf der Schallwandler nicht an Personen bzw. Lebewesen angewendet werden.*
- *Die aktuell von uns gelieferten Lasermodule sind mit Laserdioden der Laser-Klassen 2 und 3R (EN 60825-1) mit einer Leistung von ≤ 1 mW bzw. ≤ 5 mW versehen. Informieren Sie sich vor ihrer Verwendung über die notwendigen Schutzmaßnahmen.*
- *Schalten Sie ein am Ausgang LASER des SC600 angeschlossenes Laser-Modul nicht ein, wenn sich Personen in Strahlrichtung befinden. Blicken Sie nicht in den Laserstrahl und richten Sie den Laser generell nicht auf andere Personen oder Lebewesen.*

2 Einführung

Im Jahre 1932 wurde von Debye und Sears erstmals gezeigt, dass Licht beim Durchgang durch eine zu hochfrequenten Schwingungen angeregte Flüssigkeit eine Beugung erfährt. Dabei wirken die von einer stehenden oder laufenden Ultraschallwelle verursachten Dichteschwankungen wie die Gitterelemente eines optischen Beugungsgitters. Die Gitterkonstante entspricht dann der Wellenlänge des Ultraschalls und hängt folglich von dessen Frequenz sowie seiner Geschwindigkeit im durchschallten Medium ab.

Mit dem cw-Ultraschallgenerator SC600 (4) der Firma GAMPT mbH, der breitbandigen Ultraschallsonde (2), der Probenwanne (3) mit Justiereinrichtung und integrierter Laserhalterung sowie einem Lasermodul (1) ist ein Geräteset vorhanden, mit dem dieses Phänomen einfach und kompakt den Auszubildenden an Schulen und Hochschulen demonstriert werden kann (Abb. 1). Dabei lässt sich sowohl die Frequenzabhängigkeit demonstrieren als auch die Wellenlänge des Ultraschalls in verschiedenen Flüssigkeiten und damit die materialspezifische Schallgeschwindigkeit bestimmen.

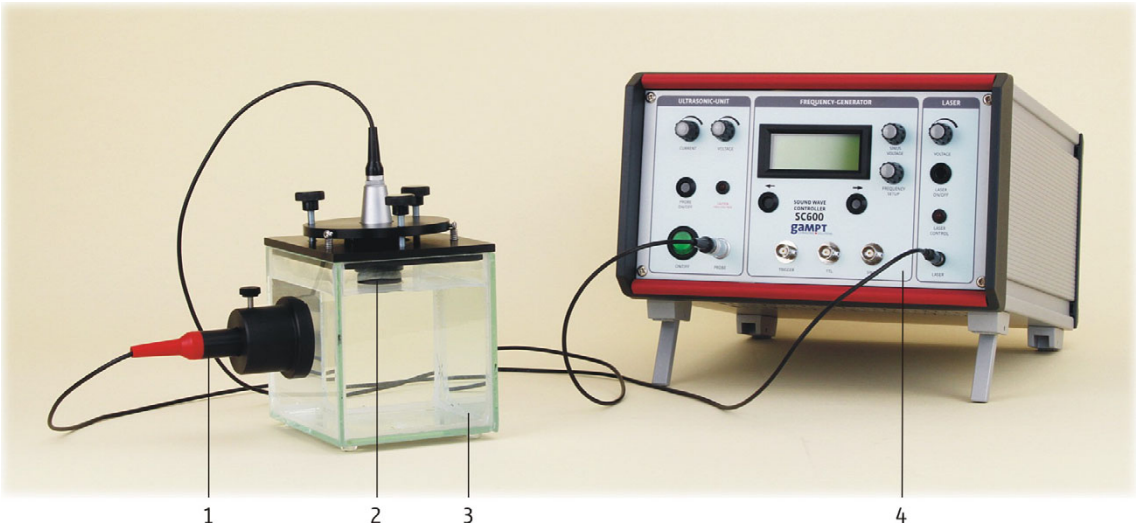

Abb. 1: SC600 und Debye-Sears-Set

(1) Lasermodul
(2) Ultraschallsonde
(3) Probenwanne mit Sondenjustierung und Laserhalterung
(4) Sound Wave Controller SC600

Ferner ist in einfacher Weise die Projektion einer stehenden Ultraschallwelle möglich. Hierzu wird eine optische Linse zwischen Laserquelle und Ultraschallwelle gebracht, so dass die stehende Welle von divergentem Laserlicht durchstrahlt wird. Die sich periodisch wiederholenden Dichteschwankungen längs der Schallachse bewirken eine unterschiedliche Brechung des Laserlichts. Das Ergebnis ist eine Abbildung mit einer Hell-Dunkel-Verteilung, die durch die Wellenlänge und somit die Frequenz des Ultraschall bestimmt ist.

Informationen zu weiteren Einsatzmöglichkeiten und Zubehör finden Sie in unserem aktuellen Katalog und auf unserer Website.

3 Sound Wave Controller SC600

Das Gerät erlaubt die Erzeugung kontinuierlicher Schallwellen (cw: continous wave) mit hoher Leistung über einen weiten Frequenzbereich bis 20 MHz und kann außerdem im Burst- oder Pulse-Mode betrieben werden. Neben dem Ultraschallgenerator sind ein Signalgenerator und eine Steuereinheit für Laserdiodenmodule integriert. Alle einstellbaren Geräteparameter und wichtige Ausgangsgrößen werden auf der zentral angeordneten LCD-Anzeige dargestellt.

SC600 und Ultraschallsonden/Lasermodule sind aufeinander abgestimmt. Bevor Sie Sonden anderer Hersteller verwenden, prüfen Sie bitte, ob die technischen Parameter kompatibel sind.

3.1 Vorderansicht des SC600

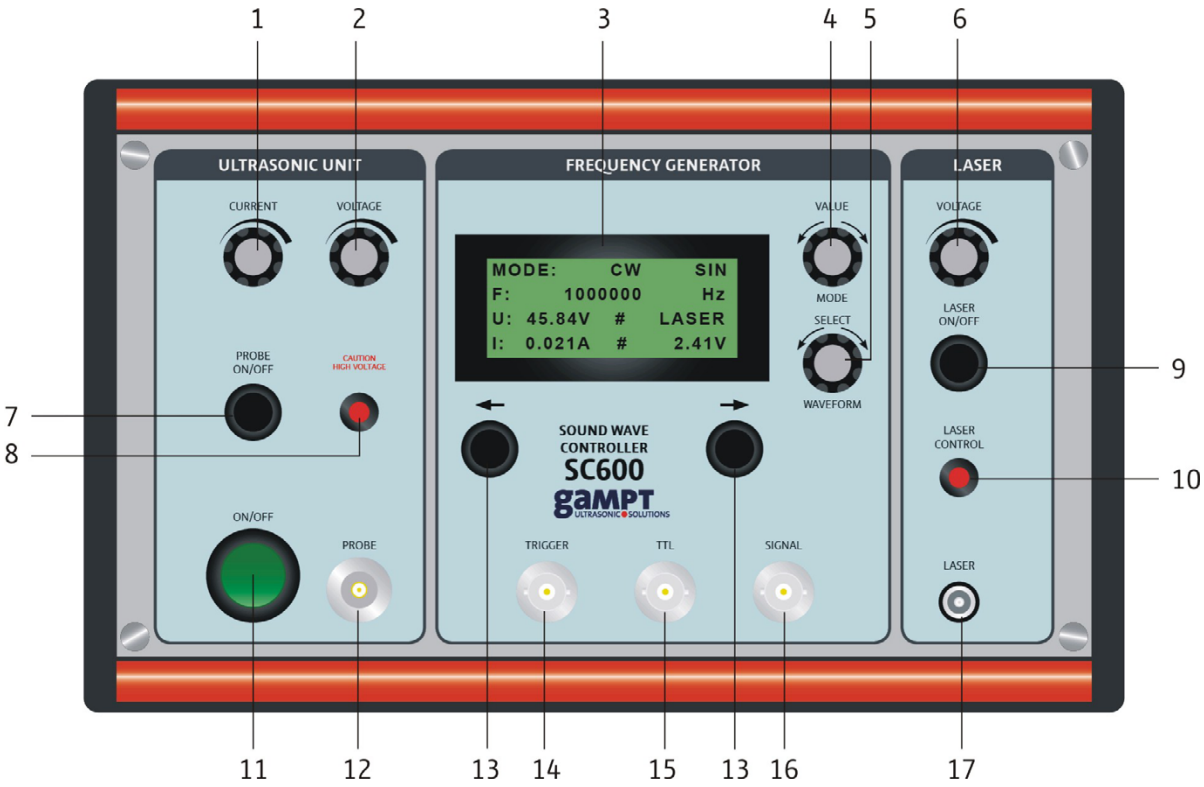

Abb. 2: Frontansicht des SC600

(1) Stromregler Ausgang PROBE
(2) Spannungsregler Ausgang PROBE
(3) LCD-Anzeige
(4) Einstellung Wert/Mode
(5) Einstellung Auswahl/Signalform
(6) Spannungsregler Ausgang LASER
(7) Ein/Aus-Taster Ausgang PROBE
(8) Status-LED Ausgang PROBE
(9) Ein/Aus-Taster Ausgang LASER
(10) Status-LED Ausgang LASER
(11) Ein/Aus-Schalter Gerät
(12) Ausgang Ultraschallgenerator
(13) Taster Dezimalstellenauswahl
(14) Trigger-Ausgang
(15) TTL-Ausgang
(16) Signalausgang Signalgenerator
(17) Ausgang Laserspannung

3.2 Rückseite des SC600

Abb. 3: Ansicht der Rückseite des SC600

Auf der Rückseite des Gerätes befindet sich die Steckdose für den Netzanschluss. Im unteren Teil der Steckdose ist ein Sicherungseinschub integriert. Dieser nimmt die Sicherung für das Gerät und eine Reservesicherung auf.

Abb. 4: Steckdose mit teilweise herausgezogenem Sicherungseinschub

Sicherungswechsel

Zum Wechsel der Geräte-Sicherung ist der Sicherungseinschub aus der Steckdose herauszuziehen (Abb. 4).

Erforderlicher Sicherungstyp: T 1A (siehe Abschnitt 6)

! *Das Gerät arbeitet mit Netzspannung. Die Berührung spannungsführender Teile ist lebensgefährlich. Schalten Sie das Gerät aus und ziehen Sie das Netzkabel aus dem Stecker, bevor Sie den Sicherungseinschub herausziehen.*

! *Ersetzen Sie die Sicherung nur durch den im Handbuch angegeben Typ. Beim Einsetzen falscher Sicherungstypen besteht Brandgefahr.*

3.3 LCD-Anzeige

Zur Einstellung und Darstellung der Geräteparameter ist eine LCD-Anzeige mit 4 Zeilen zu je 16 Zeichen vorhanden. Etwa 2 Sekunden nach dem Einschalten des Gerätes erscheint in der LCD-Anzeige der Begrüßungsbildschirm inklusive der Angabe der Versionsnummer der Gerätesoftware (Abb. 5).

```
GAMPT mbH SC600
Software
Version 2.1
Maerz 2013
```

Abb. 5: Begrüßungsbildschirm

Nach Abschluss der Initialisierung wird der Startbildschirm (Abb. 6) angezeigt. Zeile 1 enthält jetzt Angaben zum Betriebsmode und zur Signalform. Zeile 2 dient der Anzeige der Einstellwerte des Signalgenerators. In Zeile 3 und 4 werden links die am PROBE-Ausgang anliegenden Spannungs- und Stromwerte und rechts der am LASER-Ausgang anliegende Spannungswert angezeigt.

```
MODE:      CW   SIN
F:        1000000 Hz
U:45.89V  #  LASER
I:0.021A  #  2.41V
```

Zeile 1: Signalmode- und Signalform-Anzeige
Zeile 2: Einstellwert-Anzeige
Zeile 3: Ultraschall-Spannungsanzeige
Zeile 4: Ultraschall-Stromanzeige und Laserspannungsanzeige

Abb. 6: Startbildschirm Version 2.1

3.4 Bedienung des SC600

3.4.1 Signalgenerator (Frequency Generator)

Der integrierte Signalgenerator kann Signale mit Frequenzen von 1 Hz bis 20 MHz erzeugen, die digital in 1-Hz-Schritten veränderbar sind. Neben dem cw-Mode (CW) kann das Geräte auch im Burst- und Pulsmode (BURST, PULSE) betrieben werden. Es können Sinus-, Dreieck- und Rechtecksignale (SIN, TRI, SQU) generiert werden.

Die Einstellungen erfolgen über zwei Drehknöpfe mit Druckfunktion, (4) VALUE/MODE und (5) SELECT/WAVEFORM, sowie die beiden Taster ←→ (13) zur Dezimalstellenauswahl.

Die Signalfrequenz kann am TTL-Ausgang (15) als Rechtecksignal (0-5 V) abgegriffen werden. Am SIGNAL-Ausgang (16) wird das Generatorsignal entsprechend den eingestellten Parametern bereitgestellt.

Änderung der Betriebsart

Der aktuell eingestellte Mode – cw, Burst oder Puls – wird in der ersten Zeile des LCD angezeigt. Der Wechsel zwischen den Betriebsarten erfolgt durch **Drücken** des Drehknopfs (4) VALUE/**MODE**.

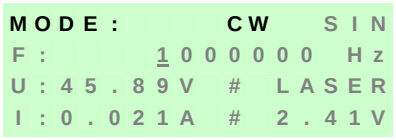

Abb. 7: cw-Mode (Ausgangszustand)

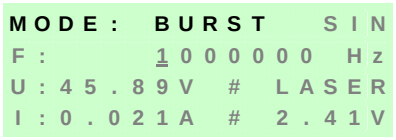

Abb. 8: 1 × drücken - Wechsel in den Burstmode

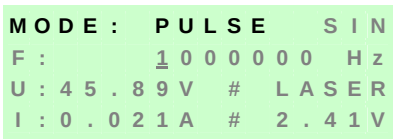

Abb. 9: 2 × drücken - Wechsel in den Pulsmode

Auswahl der Signalform

Die aktuell eingestellte Signalform - Sinus, Rechteck oder Dreieck – wird ebenfalls in Zeile 1 des LCD angezeigt. Sie kann durch **Drücken** des Drehknopfs (5) SELECT/**WAVEFORM** geändert werden.

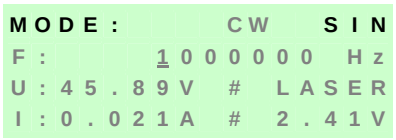

Abb. 10: Sinus (Ausgangszustand)

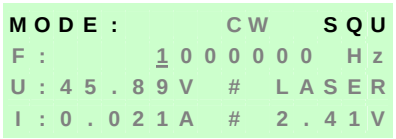

Abb. 11: 1 × drücken - Auswahl Rechteck-Signal

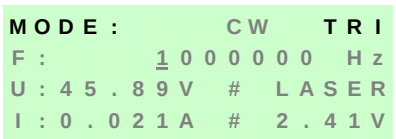

Abb. 12: 2 × drücken - Auswahl Dreieck-Signal

Auswahl und Anzeige der Signalgrößen des Genratorsignals

Am Frequenz- bzw. Signalgenerator können folgende Signalgrößen entsprechend Tabelle 1 angezeigt und verändert werden: Signalfrequenz, Signalamplitude, Pulswiederholfrequenz und Burstlänge. Die Auswahl der anzuzeigenden bzw. einzustellenden Signalgröße erfolgt durch **Drehen** des Drehknopfs (5) **SELECT**/WAVEFORM.

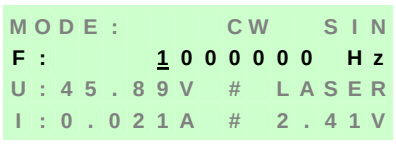

Abb. 13: Frequenz (Ausgangszustand)

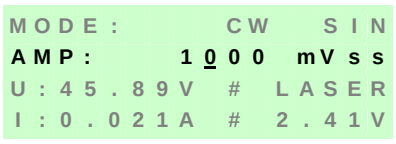

Abb. 14: Drehen rechts – Amplitude des SIGNAL-Ausgangs

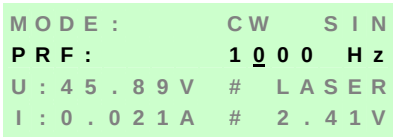

Abb. 15: Drehen rechts – Pulswiederholfrequenz bei Burst und Puls

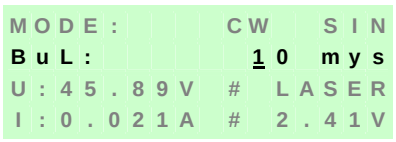

Abb. 16: Drehen rechts – Burstlänge (ist auch gleich der doppelten Pulsbreite im Pulsmode)

Einstellen der Werte der Signalgrößen

Nach der Auswahl der einzustellenden Signalgröße (Abb. 13-16), kann der Wert der Signalgröße mit Hilfe des Drehknopfs (4) **VALUE**/MODE und der beiden Taster ←→ (13) eingestellt werden. Durch **Drehen** des Drehknopfs (4) wird der Werte der selektierten Dezimalstelle verändert. Ein Drehen nach links verringert den Wert und ein Drehen nach rechts erhöht den Wert.

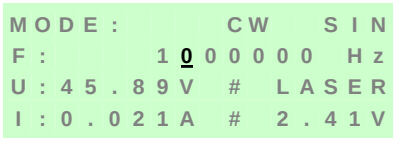

Abb. 17: Ausgangszustand

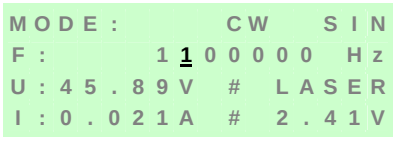

Abb. 18: Erhöhen des Wertes durch Drehen nach rechts

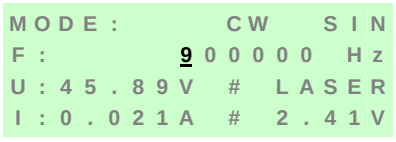

Abb. 19: Verringern des Wertes durch Drehen nach links

Mit den Tastern ←→ (13) kann die zu verändernde Dezimalstelle ausgewählt werden.

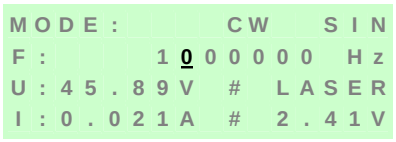

Abb. 20: Ausgangszustand

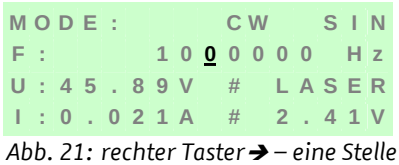

Abb. 21: rechter Taster → – eine Stelle nach rechts

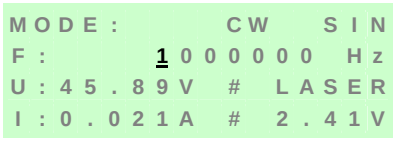

Abb. 22: linker Taster ← – eine Stelle nach links

Einstellwerte Signalgenerator (Signalgrößen)

In Tabelle 1 sind die möglichen Einstellwerte der Signalgrößen zusammengefasst. Als Schrittweite ist die kleinstmögliche angegeben. Die tatsächliche Schrittweite ist von der Dezimalstelle abhängig, die zuvor bei der Einstellung ausgewählt wurde.

Tab. 1 Einstellwerte für die Signalgrößen des Signalgenerators.

Signalgröße	Einheit	Minimum	Maximum	Schrittweite
Frequenz	Hz	1	20 000 000	1
Amplitude	mVss	0	2 500	1
Pulswiederholfrequenz	Hz	1	20 000	1
Burstlänge	µs	1	65 000	1

3.4.2 Ultraschallgenerator (ULTRASONIC UNIT)

Anschlüsse und Bedienelemente des Ultraschallgenerators befinden sich auf der linken Seite des Gerätes. Am mit PROBE bezeichneten Ausgang (12) wird die Multifrequenzsonde von GAMPT angeschlossen. Die Einstellung der Schallleistung erfolgt über zwei Drehknöpfe. Mit dem linken Drehknopf (1) wird der Grenzwert für den Sendestrom (CURRENT) geregelt. Die Einstellung der Sendespannung (VOLTAGE) erfolgt mit dem rechten Drehknopf (2). Die möglichen Einstellwerte für Strom und Spannung sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Die Einstellung aller anderen Parameter wie Mode, Signalfrequenz, Pulsfrequenz, Pulswiederholfrequenz oder Burstlänge erfolgt über den Signalgenerator wie oben beschrieben (Abschnitt 3.3.1)

Tab. 2: Einstellwerte Sendespannung und Stromlimit am Ultraschallgenerator

Größe	Einheit	Minimum	Maximum	Schrittweite
Spannung	V	2	50	kontinuierlich
Strom	mA	0	1 000	kontinuierlich

Die aktuellen Werte von Sendespannung und Strombegrenzung sind in Zeile 3 und 4 der LCD-Anzeige (3) ablesbar.

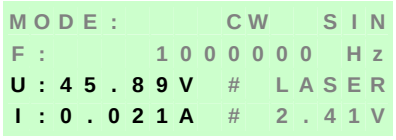

Abb. 23: Spannung U und Strom I am Ultraschallgenerator

Mit Hilfe des Schalters (7) (PROBE ON/OFF) kann die Leistungsversorgung der Ultraschallsonde ein- und ausgeschaltet werden. Der Status des PROBE-Ausgangs (12) wird durch die Kontroll-LED (8) über dem Anschluss angezeigt. Wenn die LED leuchtet ist der Ultraschallgeneratorausgang eingeschaltet und die Ultraschallsonde wird mit Leistung versorgt.

Vorsicht! Am PROBE-Ausgang können Spannungen bis 50 V und Ströme bis 1000 mA anliegen. Schalten Sie den PROBE-Ausgang ab (Kontroll-LED ist aus), wenn die Ultraschallsonde nicht angeschlossen ist oder nicht benötigt wird.

In der Ultraschallsonde wird eine hohe Leistung umgesetzt, die zur Erwärmung der Sonde führt. Betreiben Sie die angeschlossene Ultraschallsonde nicht ohne Kontakt zum Untersuchungsobjekt (Flüssigkeit, Probenwanne usw.), da es sonst zur Überhitzung und damit zur Zerstörung der Sonde kommt. Schalten Sie die Leistungsversorgung der Sonde über den Schalter (7) ab, wenn die Sonde nicht benötigt wird.

3.4.3 Spannungsversorgung für Lasermodule (LASER)

Für die akustooptischen Versuche auf Grundlage der Beugung oder Brechung von Licht an einer Ultraschallwelle werden von GAMPT Lasermodule bereitgestellt, deren Laserdioden kontinuierlich monochromatisches Licht im roten, grünen oder blauen Bereich des sichtbaren Spektrums abgeben.

Anschluss und Bedienelemente für die Lasermodule finden Sie auf der rechte Seite der Gerätefront unter LASER. Das zu verwendende Lasermodul wird am mit LASER bezeichneten Ausgang (17) angeschlossen. Die Versorgungsspannung (Tab. 3) wird über den Drehschalter (6) eingestellt und geregelt.

Tab. 3: Einstellwerte Versorgungsspannung Laser

Größe	Einheit	Minimum	Maximum	Schrittweite
Spannung	V	1,7	3,5	kontinuierlich

Der aktuelle Spannungswert am LASER-Ausgang (17) ist in Zeile 4 der LCD-Anzeige (3) ablesbar.

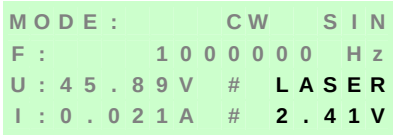

Abb. 24: Anzeige der Spannung am LASER-Ausgang

Unterhalb des Drehschalters (6) befindet sich der Ein/Aus-Schalter für den LASER-Ausgang (17). Der Status des Ausgangs wird über die Kontroll-LED (10) unterhalb des Ein/Aus-Schalters (9) angezeigt. Wenn die LED leuchtet ist der LASER-Ausgang eingeschaltet und das angeschlossene Lasermodul wird mit Leistung versorgt.

! *Die von GAMPT gelieferten Lasermodule sind mit Laserdioden der Laser-Klassen 2 und 3R (EN 60825-1) mit einer Leistung von ≤ 1 mW bzw. ≤ 5 mW versehen. Informieren Sie sich vor ihrer Verwendung über die notwendigen Schutzmaßnahmen.*

! *Schalten Sie ein angeschlossenes Lasermodul nicht ein, wenn sich Personen in Strahlrichtung befinden. Blicken Sie nicht in den Laserstrahl und richten Sie den Laser generell nicht auf andere Personen oder Lebewesen. Schalten Sie das Lasermodul ab, wenn Sie es nicht benötigen.*

4 Zubehör

Im Folgenden wird das für den Debye-Sears-Versuch und die Projektion stehender Ultraschallwellen benötigte Zubehör beschrieben. Information über weiteres Zubehör finden Sie im GAMPT-Katalog Ausbildung und auf unserer Website.

4.1 Ultraschallsonde

Speziell für den Einsatz mit den cw-Generatoren SC500 und SC600 wurde von GAMPT eine Multifrequenzsonde entwickelt, die sich durch sehr gute Schallerzeugungseigenschaften in einem Frequenzbereich von 1 MHz bis über 10 MHz auszeichnet. Sie ist mit einem robusten Metallgehäuse versehen, wobei die Schallabstrahlungsfläche wasserdicht vergossen ist. Über einen speziellen LEMO-Stecker kann die Sonde direkt an den Ausgang PROBE des Ultraschallgenerators des SC600 angeschlossen werden.

Abb. 25: Multifrequenzsonde

(1) Schallabstrahlfläche, vergossen
(2) Sondengehäuse
(3) Anschlussstecker (LEMO)
(4) Anschlusskabel

! *Achtung! Betreiben Sie den Ultraschallwandler nie ohne Kontakt zu einer Flüssigkeit, um eine Überhitzung und damit seine Zerstörung zu vermeiden (siehe auch Kapitel 3.4.2, Seite 11 f.).*

4.2 Lasermodule

Die Lasermodule von GAMPT sind mit roten, grünen oder blauen Laserdioden der Laser-Klassen 3R (grün und rot) bzw. 2 (blau) zur Durchführung akustooptischer Versuche (Debye-Sears-Effekt, Projektion stehender Ultraschallwellen usw.) versehen. Zur Versuchsdurchführung werden die Lasermodu-

Abb. 26: Lasermodul (rot)

(1) Austrittsfenster Laserstrahl
(2) Laserdiodenhülle
(3) Hohlstecker zum Anschluss an SC600
(4) Anschlusskabel

le in der Laserhalterung des AOM-Probengefäßes (Abb. 27) befestigt. Die Spannungsversorgung der Module erfolgt über die LASER-Einheit des SC600. Dazu wird das Lasermodul über seinen Hohlstecker (3) mit dem SC600 verbunden.

4.3 Probenwanne und Sondenjustierung

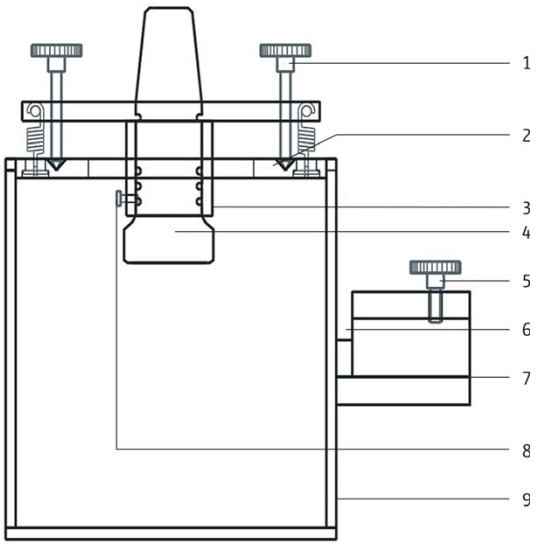

Abb. 27: Schnittdarstellung von Probenwanne, Deckel mit Sondenjustierung, Sonde und Laserhalterung

(1) Justierschrauben zur Sondenausrichtung
(2) Deckel
(3) Sondenhalterung
(4) Ultraschallsonde
(5) Feststellschraube für Lasermodul
(6) Aufnahmeschacht für Projektionslinse
(7) Halterung für Lasermodule
(8) Feststellschraube für Ultraschallsonde
(9) Glasgefäß

Die Erzeugung von stehenden Ultraschallwellen erfolgt in einem oben offenen Glasgefäß (9).

Abgedeckt wird das Probengefäß mit einem speziellen Deckel (2). Der Deckel ist mit einer Halterung (3) für die Ultraschallsonde (4) versehen. Deckel und Sondenhalterung sind über drei Spannfedern und drei Justierschrauben (1) so miteinander verbunden, dass die Schallachse der eingesetzten Ultraschallsonde exakt senkrecht auf den Wannenboden ausgerichtet werden kann. Durch die Möglichkeit der Dreipunktjustierung können die einfallende und die am Gefäßboden reflektierte Schallwelle genau überlagert und somit eine stehende Ultraschallwelle eingestellt werden.

An einer Wand des Probengefäßes ist eine Halterung (7) für ein Lasermodul angebracht, so dass die Schallwelle senkrecht durchstrahlt werden kann. Die Halterung ist zusätzlich mit einem Aufnahmeschacht (6) für eine Projektionslinse für den Versuch zur Projektion einer stehenden Ultraschallwelle versehen.

4.4 Projektionslinse

Die Projektionslinse besteht aus einem rechteckigen Glasträger (2) mit Griffläche (3) und der eigentlichen optischen Linse (1). Die Linse ist plankonvex und auf den Glasträger aufgeklebt. Für den Projektionsversuch wird die Projektionslinse in den dafür vorgesehenen Aufnahmeschacht der Laserhalterung am Probengefäß geschoben. Die richtige Platzierung der Projektionslinse ist in Abb. 29 dargestellt.

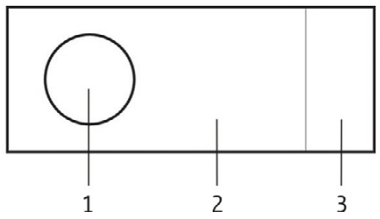

Abb. 28: Draufsicht Projektionslinse

(1) Plankonvexlinse
(2) Glasträger
(3) Griffläche

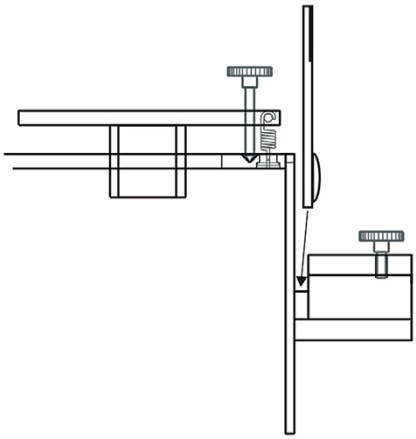

Abb. 29: Positionierung der Projektionslinse

5 Praktikumsversuche

Die folgende Liste enthält Vorschläge zu Praktikumversuchen, welche mit dem SC600 und entsprechendem Zubehör durchgeführt werden können. Kurzbeschreibungen sowie Informationen zum benötigten Equipment, zum Aufbau oder zur Durchführung finden Sie in unserem Katalog und auf unserer Website. Der Debye-Sears-Effekt und die Projektion stehender Wellen werden im Anschluss in den Abschnitten 5.2 und 5.3 näher beschrieben.

PHY11 Debye-Sears-Effekt
PHY12 Projektion stehender Wellen
PHY17 Akustooptische Modulation an stehenden Ultraschallwellen
PHY19 Phasen- und Gruppengeschwindigkeit
PHY24 Thermoakustischer Sensor
IND04 Konzentrationsmessung mit Resonanzzelle

5.1 Allgemeine Versuchshinweise

Folgende Hinweise sollten zum Gelingen der Versuche beachtet werden:

- Es ist möglichst entgastes Wasser zu verwenden, da Luftblasen sowohl das Schallfeld als auch den Durchgang des Laserlichtes stören.
- An der Ultraschallsonde befindliche Luftblasen sind zu entfernen.
- Es sollten möglichst große Entfernungen zwischen Probengefäß und Projektionswand verwendet werden, um so die Abstände der Beugungsordnungen zu vergrößern und den Messfehler zu minimieren.
- Wenn nicht gemessen wird, ist der Ultraschall auszuschalten, um eine Erwärmung der Probenflüssigkeit zu vermeiden.
- Für exakte Messungen ist die Temperatur zu bestimmen und zu vergleichen.
- Bei allen Frequenzen bis 9 MHz sollten bei höheren Spannungen mit guter Ausrichtung des Wandlers mindestens zwei bis drei Beugungsmaxima sichtbar sein.
- Der Projektionsversuch ist wesentlich kritischer gegen Verkippen des Wandlers als die Lichtbeugung. Bei der Projektion müssen die Bedingungen zum Erzeugen einer stehenden Welle besser eingehalten werden.

5.2 Debye-Sears-Effekt

1932 zeigten Debye und Sears, dass Licht beim Durchgang durch eine Flüssigkeit, die zu hochfrequenten Schwingungen angeregt wird, eine Beugung erfährt. Mit Hilfe dieses Effektes kann Ultraschall quasi „sichtbar“ gemacht werden. Die von einer stehenden oder laufenden Ultraschallwelle in der Flüssigkeit erzeugten Dichtemaxima und Dichteminima wirken hierbei wie ein optisches Beugungsgitter. Die Gitterkonstante eines solchen von einer Ultraschallwelle erzeugten Gitters entspricht der Wellenlänge dieser Ultraschallwelle (Abb. 31). Sie kann mit Hilfe der Beugungsbilder des Lichtes eines Laserstrahls bekannter Wellenlänge bestimmt werden (Abb. 30). Da die Wellenlänge durch Frequenz und Schallgeschwindigkeit definiert wird, kann der Debye-Sears-Effekt in diesem Versuchsaufbau verwendet werden, um die Schallgeschwindigkeit in der durchschallten Flüssigkeit mit hoher Genauigkeit zu bestimmen. Sind die Entfernung s zwischen Ultraschallwelle und Beugungsbild, die Anzahl N der Beugungsmaxima, der Abstand x zwischen der –N-ten und +N-ten Beugungsordnung, die Schallfrequenz v und die Wellenlänge λ_L des Laserlichts bekannt, können die Wellenlänge des Schalls λ_s und die Schallgeschwindigkeit c in der Flüssigkeit nach folgenden Formeln berechnet werden:

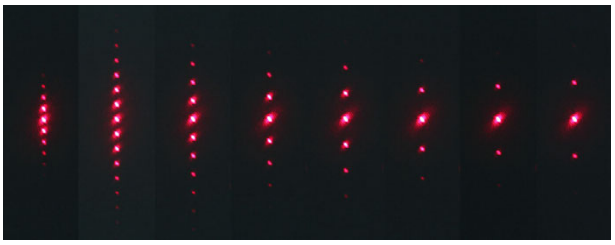

Abb. 30: Beugungsbilder für rotes Laserlicht bei Schallfrequenzen von 3-10 MHz in 1-MHz-Schritten.

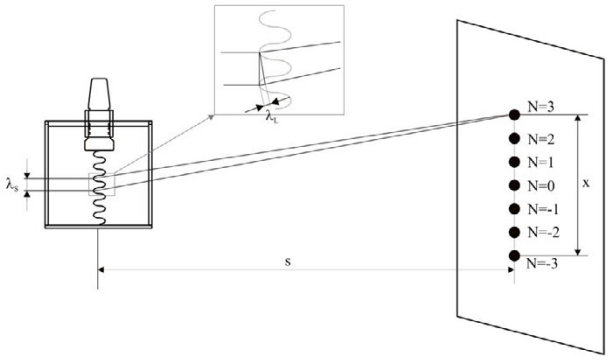

Abb. 31: Schematische Darstellung der geometrischen Verhältnisse beim Debye-Sears-Versuch.

$$\lambda_S = 2N \cdot \lambda_L \frac{s}{x} \quad (1)$$

$$c = \lambda_S \cdot v \quad (2)$$

Beispielmessungen:

Tab. 4: Zusammenfassung gegebener, gemessener und berechneter Werte

Flüssigkeit	gegebene Werte		Messwerte			berechnete Werte		Literaturwerte
	v in MHz	λ_L in nm	N	s in m	x in cm	λ_S in µm	c in m/s	c in m/s
Wasser	4	650 (rot)	4	2,9	4,1	367,8	1471	1480 bei 20 °C
Glycerin	4	650 (rot)	2	2,9	1,6	471,2	1885	1900 bei 25 °C

5.3 Projektion stehender Wellen

Eine stehende Ultraschallwelle in einer Flüssigkeit kann mit Hilfe von divergentem monochromatischen Licht direkt abgebildet werden. Durch die stehende Welle werden in der Flüssigkeit Schalldruckunterschiede erzeugt, die sich entlang der Schallachse periodisch wiederholen. Die dadurch bewirkten örtlichen Dichteunterschiede haben längs der Schallachse örtlich differierende und sich periodisch wiederholende Brechungsindizes zur Folge. Die Projektion der stehenden Welle zeigt daher bei der Verwendung von monochromatischem Licht eine Hell-Dunkel-Modulation mit sich periodisch wiederholenden Helligkeitsmaxima, die den Dichteunterschieden entsprechen (Abb. 32).

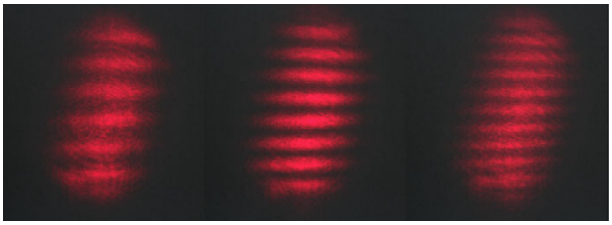

Abb. 32: Mit rotem Laserlicht gewonnene Projektionsbilder stehender Ultraschallwellen in Wasser bei Schallfrequenzen von 2,8 MHz, 3,5 MHz und 4,5 MHz.

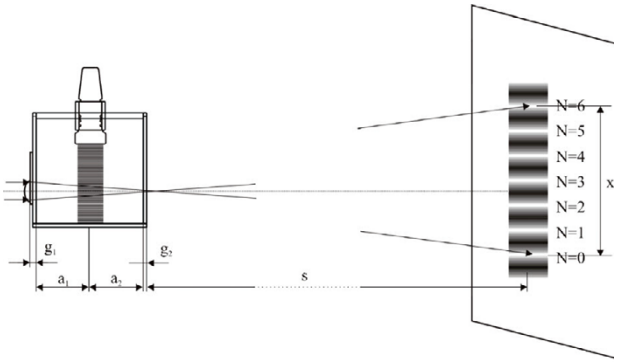

Abb. 33: Schematische Darstellung der geometrischen Verhältnisse bei der Projektion einer stehenden Ultraschallwelle.

Zur Bestimmung der Wellenlänge aus dem Verteilungsbild und der Geometrie müssen außer der Brennweite f der Linse in Luft noch Brechungskorrekturen durch die Glaswände und die Messflüssigkeit berücksichtigt werden (Abb. 33). Zur exakten Bestimmung der Wellenlänge empfiehlt sich daher die Methode der Lichtbeugung, wie in Abschnitt 5.2 beschrieben.

Die exakte Berechnungsvorschrift für die Schallwellenlänge λ_S aus der Projektionsdarstellung gibt die Formel (3) an. Der Abstand a_1 zwischen Schallfeld und Glaswand auf der Linsenseite und der Abstand a_2 können näherungsweise mit jeweils der Hälfte des Innenmaßes angenommen werden. Die Glasstärke g_1 entspricht der Summe aus Wanddicke des Glasgefäßes und der Dicke des Glasträgers der Projektionslinse. Die Brechungsindexe n_L der Messflüssigkeit und n_G des Glases müssen bestimmt oder aus der Literatur entnommen werden. N ist die Anzahl der Helligkeitsmaxima und x der dazugehörende Abstand. Die Schallgeschwindigkeit in der Flüssigkeit ergibt sich wieder nach Gleichung (2).

$$\lambda_S = \frac{2x}{N} \cdot \frac{f - \frac{g_1}{n_G} - \frac{a_1}{n_L}}{s - \left(f - \frac{g_1 + g_2}{n_G} - \frac{a_1 + a_2}{n_L} \right)} \qquad (3)$$

Anmerkung: Eine gute Projektion der stehenden Ultraschallwelle lässt sich mit dem mitgelieferten Glasprobengefäß meist nur für 4 MHz realisieren. Besonders für 1 MHz kommt es zu destruktiven Überlagerungen der eingestrahlten Ultraschallwellen mit den an der Unterseite des Gefäßbodens reflektierten Ultraschallwellen. Für 8 MHz ist die Amplitude der abgestrahlten Ultraschallwelle zu gering und zusätzlich die Absorption deutlich höher (der Absorptionskoeffizient ist proportional zum Quadrat der Frequenz), so dass es zu keiner deutlich ausgeprägten stehenden Welle kommt.

Beispielmessung für Wasser:

Gegebene Werte:

Brennweite der Linse in Luft:	f	= 10 cm
Brechungsindex von Glas:	n_G	= 1,45
Brechungsindex von Wasser:	n_L	= 1,33
Schallfrequenz:	ν	= 4 MHz

Tab. 5: Zusammenfassung der Messwerte und Ergebnisse

gemessene Werte						berechnete Werte		Literatur
$a_{1,2}$ in cm	g_1 in cm	g_2 in cm	s in m	x in cm	N	λ_S in µm	c in m/s	c in m/s
4,8	0,5	0,4	3,03	8,9	9	397	1590	1480 bei 20 °C

6 Technische Details

6.1 Sound Wave Controller SC600

Allgemein

Abmessungen:	255 mm × 170 mm × 265 mm (B × H × T)
Netzspannung:	100-240 V, 50/60 Hz
Leistungsaufnahme:	max. 100 VA
Absicherung:	T 1A (EN 60127-2-3) G-Sicherungseinsatz, träge, 1 Ampere, 5 × 20 mm
Module:	Ultraschallgenerator (ULTRASONIC UNIT) Signalgenerator (FREQUENCY GENERATOR) Spannungsversorgung für Lasermodule (LASER)

Signalgenerator (FREQUENCY-GENERATOR)

Signalmoden:	cw, Burst oder Puls
Signalformen:	Sinus, Dreieck oder Rechteck
Frequenz:	≤ 20 MHz, einstellbar in 1-Hz-Schritten
Pulswiederholfrequenz:	1 Hz – 20 kHz, einstellbar in 1-Hz-Schritten
Burstlänge:	1-65000 µs, einstellbar in 1-µs-Schritten, (Pulsbreite im Puls-Mode = ½ Burstlänge)
Ausgang TRIGGER:	TTL-Puls in Burst- oder Puls-Mode
Ausgang TTL:	0-5 Vss, Rechtecksignal
Ausgang SIGNAL:	Signal entsprechend den Einstellungen des Signalgenerators mit ≤ 2,5 Vss
Display:	4-zeiliges LCD zur Anzeige und Einstellung der Parameterwerte des Signalgenerators und des Ultraschallgenerators sowie der Ausgangsspannung der LASER-Einheit.

Ultraschallgenerator (ULTRASONIC-UNIT)

Signalausgang PROBE:	LEMO-Buchse, abschaltbar
Statusanzeige:	LED-Kontrollleuchte
Ausgangsspannung:	2-50 Vss, kontinuierlich einstellbar
Strombegrenzung:	0-1000 mA, kontinuierlich einstellbar
	Mode, Frequenz, Pulswiederholfrequenz und Burstlänge entsprechen den am Signalgenerator eingestellten Werten

LASER-Einheit

Ausgang LASER:	Hohlstecker-Buchse für Stecker mit 5,5 mm Außendurchmesser und 2,5 mm Innendurchmesser; abschaltbar
Statusanzeige	LED-Kontrollleuchte
Spannung:	1,7-3,5 V DC, kontinuierlich einstellbar

6.2 Zubehör

Multifrequenzsonde

Frequenz:	1 MHz bis ca. 13 MHz
Abmessungen:	65 mm × 27 mm (L × D ohne Kabel)
Wandlerelement:	Kreisscheibe mit 16 mm Durchmesser
Kabel:	Länge ca. 1,5 m; LEMO-Stecker zum Anschluss an PROBE-Ausgang des SC600

Probenwanne

Abmessungen:	123 mm × 115 mm × 144 mm (B × H × T)
Material:	Glas, Wanddicke 4 mm
Laserhalterung:	17-mm-Aufnahmeöffnung für Lasermodule, Aufnahmeschacht für Projektionslinse

Sondenjustierung

Abmessungen:	123 mm × 52 mm × 105 mm (B × H × T)
Material:	POM
Sondenhalterung:	passend für GAMPT Ultraschallsonden, Dreipunktjustiervorrichtung

Lasermodule

Strahlfleck:	< 6 mm in Abstand von 3 m
Wellenlängen:	650 nm (rot), 532 nm (grün), 405 mm (blau)
Leistung:	rot/grün: ≤ 5 mW, Laser-Klasse 3R (EN 60825-1) blau: ≤ 1 mW, Laser-Klasse 2 (EN 60825-1)
Versorgungsspannung:	max. 3,5 V DC
Stromaufnahme:	rot: max. 40 mA grün: max. 375 mA blau: max. 90 mA
Modulabmessungen:	Länge ca. 90 mm, Durchmesser 17 mm
Anschlusskabel:	Kabellänge ca. 1 m, Hohlstecker mit 5,5 mm Außendurchmesser und 2,5 mm Innendurchmesser

Projektionslinse

Glasträger:	25 mm × 75 mm, angeraute Griffffläche
Linse:	plankonvex, Durchmesser 16 mm, Brennweite 100 mm